

创造力培养：生成学习理论及其与生成式人工智能的潜在合作

施 宇

西南大学西南民族教育与心理研究中心, 重庆

收稿日期：2026年1月29日；录用日期：2026年2月24日；发布日期：2026年3月10日

摘 要

学习作为影响创造力的重要因素之一，不仅为创造性思维提供必要的材料和实践机会，培养学习者的认知技能，还通过营造有利于探索与表达的环境，激发学习者的创造潜能。生成性学习与生成取向学习视角为理解这一过程提供了全面的理论框架：生成性学习强调学习者通过主动选择、组织和整合信息来构建有意义的知识，而生成取向学习则强调身体行动与情境嵌入互动在学习中的不可分割作用。两者共同将学习概念化为一种主动性、建构性和具身性的过程。基于此框架，动作化学习和自我生成教学作为两种重要的实践形式，通过强调学习者的主动参与和知识生成，为理解生成学习如何支持创造力提供了依据。本文通过梳理生成学习理论的最新进展，并结合时代前沿成果——生成式人工智能技术，旨在为创造力的培养提供新的视角与启发。

关键词

创造力，生成性学习，生成取向学习，动作化学习，自我生成教学，生成式人工智能

Cultivating Creativity: Generative and Enactive Learning Perspectives and Their Potential Collaboration with Generative Artificial Intelligence

Yu Shi

Center for Studies of Education and Psychology of Ethnic Minorities in Southwest China, Southwest University, Chongqing

Received: January 29, 2026; accepted: February 24, 2026; published: March 10, 2026

Abstract

Learning serves as one of the critical factors influencing creativity. It not only provides learners with the necessary materials and opportunities for creative thinking and cultivates cognitive skills, but also fosters an environment that supports exploration and expression, thereby stimulating creative potential. Generative and Enactive Learning perspectives provide a comprehensive theoretical framework for understanding this process. The Generative Learning emphasizes learners' active selection, organization, and integration of information to construct meaningful knowledge, while the Enactive Learning highlights the inseparable role of bodily action and context-embedded interaction in learning. Together, these perspectives conceptualize learning as an active, constructive, and embodied process. Derived from this theoretical frame, learning by enacting and learning by non-interactive teaching represent two prominent practical approaches, providing a basis for understanding how Generative and Enactive Learning support creativity by emphasizing learners' active engagement and knowledge construction. By reviewing the latest advancements in Generative and Enactive Learning and integrating them with Generative Artificial Intelligence (GAI)—a hallmark of contemporary technological progress—this paper aims to offer novel perspectives and insights for the systematic cultivation of creativity.

Keywords

Creativity, Generative Learning, Enactive Learning, Learning by Enacting, Learning by Non-Interactive Teaching, Generative Artificial Intelligence

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

学习和创造力之间的关系是教育心理学和认知科学研究的重要主题，大量文献都支持两者之间存在密切联系。首先，扎实的知识基础被认为是创造力发展的重要前提。根据 Acar 等人的研究，专业知识为创造性思维提供了必要的原材料，使得个体能够在特定领域内产生新颖的想法(Acar & van den Ende, 2016)。其次，学习不仅仅是知识的积累，还包括问题解决和创新能力的培养。Sternberg 和 Lubart 提出的“投资理论”(Investment Theory)强调了学习过程中努力和实践的重要性，认为通过不断的学习和实践，个体可以提高其创造性潜能(Sternberg & Lubart, 1995)。此外，元认知技能——即个体对自己认知过程的认识和调控能力——对于创造性思维至关重要。学习者通过发展元认知技能，能够更好地监控和评估自己的学习过程，从而促进创造性思维的发展(Flavell, 1978)。教育环境在学习者创造力的培养中也发挥着关键作用。鼓励探索、批判性思维和自由表达的学习环境能够激发学习者的创造性潜能。Plucker 等人的研究表明，支持性的教学策略和学校文化与学生创造力水平的提高有关(Plucker et al., 2004)。同样，跨学科学习提供了多角度的视野和多样化的思维方式，有助于促进创造力的发展。Scott 等人的研究发现，跨学科的知识结构能够促进创新思维和问题解决能力(Scott et al., 2004)。

在这样的背景下，生成学习理论作为一种整合框架，为理解学习与创造力的关系提供了新的视角。本文所讨论的“生成学习”在理论谱系上既包含认知加工中的“生成性学习”(Generative Learning; Wittrock, 1974; Mayer, 2002)，也吸收了具身认知取向中的“生成论”(Enactivism)思想。前者强调学习者通过主动选择、组织与整合信息进行意义建构，而非被动接收知识，从而形成更为深刻和灵活的心理表征(Fiorella

& Mayer, 2015; Wittrock, 1974); 后者则进一步指出认知活动植根于身体行动与情境互动之中, 强调认知与行动的内在统一(叶浩生, 2022)。尽管两种理论在发展路径上存在差异, 但在“学习是主动建构过程”这一核心假设上具有内在一致性。因此, 在整合视角下, “生成”既体现为个体内部认知加工的主动组织过程, 也表现为个体在情境中的行动参与动态调节。既有研究进一步表明, 这种以主动建构为核心的生成性活动不仅能够增强学习者对知识的理解与保持, 还能促进知识迁移与创新应用(Fiorella & Mayer, 2015; Mayer, 2002), 同时通过强化主动参与和元认知调控机制, 为创造力的发展提供认知基础(Chi, 2009)。

综上, 通过深入理解并利用学习理论及其新进展, 可以为创造力的培养提供有力支撑, 开拓实践方向。特别是以生成学习理论为基础的一系列理论研究进展为更好地与创造力结合提供了可能。同时, 随着生成式人工智能的发展, 我们也将很快进入人工智能全面普及的时代。现有的生成式人工智能模型在一些方面已经表现出接近甚至超越人类的能力, 未来可能还会在更多领域取得突破性进展。在此背景下, 如何有效利用好这项资源来促进个体学习和创造力的发展将成为亟需探讨的重要课题。

2. 生成论与生成性学习：理论谱系与整合视角

生成取向(通常称为“生成论”, Enactivism)是一种认知理论, 起源于现象学哲学与认知科学, 并自20世纪90年代以来迅速发展, 影响范围广泛(Stilwell & Harman, 2021)。该理论的核心在于强调认知活动与身体行动的紧密关联。从认知与行动一体化的视角来看, 学习不应被理解为单纯的信息反映或表征, 学习者也并非被动接收环境信息的对象; 相反, 学习本质上是一种主动的实践过程(叶浩生, 2022)。正如Dewey所言, 学习最有效的方式是在行动中进行(learning by doing)。在这一过程中, 身体行动不仅是学习的外在表现形式, 更是认知生成的重要机制。

与此同时, 在信息加工研究中, Wittrock (1974)与 Mayer (2002)所提出的“生成性学习”(Generative Learning)理论则从认知加工层面强调, 学习者通过主动选择、组织与整合信息实现意义建构。该理论关注个体如何通过生成性加工形成更为深刻和灵活的心理表征, 并突出元认知调控在学习过程中的作用。

尽管生成论与生成性学习在理论渊源与研究路径上存在差异, 但二者在强调学习的主动生成性这一核心立场上具有重要的交汇点: 前者突出行动与情境在认知生成中的基础性作用, 后者强调认知加工层面的主动建构机制。基于此, 本文尝试从整合的视角, 将身体行动层面的生成过程与认知加工层面的生成机制视为相互补充的两个维度, 从而为理解学习如何支持创造力提供更加系统的理论框架。

在这一整合框架下, 动作化学习(learning by enacting)与学习者自我生成教学(learning by non-interactive teaching)可被视为两种重要的实践路径。前者更突出身体行动对认知加工的支持作用, 后者则强调通过理解、解释与表达促进生成性加工。二者在不同层面体现了生成学习的核心精神, 并为创造力培养提供了具体的实践基础。

3. 动作化学习

动作化学习(learning by enacting)是一种在学习时执行与任务相关的身体动作或操作的学习方式, 其中典型的动作化学习形式就是操作教学模型(匡子翌等, 2023)。“enact”这一概念最早可追溯到Bandura所提出的亲历学习(enactive learning), 意为亲身参与的学习形式, 用以区别于观察学习(Bandura, 1986, 1997)。这一思想后来被具身认知理论(Embodied Cognition Theory, ECT)所吸纳。Fiorella和Mayer在此基础上提出的动作化学习概念, 进一步强调了学习者身体动作对学习的影响。学习者在学习过程中通过有意义的身体动作参与认知加工, 这些动作有助于将外显行为与内在心理表征相联系, 从而促进对学习材料的理解与保持(Fiorella & Mayer, 2015)。

3.1. 动作化学习分类

Fiorella 和 Mayer 认为, 只要这些动作与学习目标直接相关, 并在一定程度上支持学习者对信息的理解或表征建构, 均可被纳入动作化学习的研究范畴(Fiorella & Mayer, 2015)。基于动作的表现形式及其与学习材料的交互方式, 既有研究通常将动作化学习区分为手势教学模型与操作教学模型(匡子翌等, 2023)。

手势教学模型主要指学习者在学习过程中使用与学习内容相关的手部动作或姿势, 以辅助对概念、过程或空间关系的理解。这类动作通常不直接改变学习材料本身, 而是作为认知加工的外显表现, 被认为有助于促进心理表征的形成与组织。操作教学模型则强调学习者通过对教学对象的实际操作参与学习过程, 动作会直接作用于学习材料, 并伴随可观察的反馈。随着技术的发展, 操作教学模型可进一步区分为实物教学模型与虚拟教学模型: 前者要求学习者对实体材料或物理对象进行直接操作; 后者则依托计算机系统呈现学习内容, 学习者通过键盘、鼠标等输入设备对虚拟对象进行操作。

3.2. 动作化学习对学习的提升

3.2.1. 有无动作化学习

大部分研究发现动作化学习可以提升学生的成绩; 但也有少量研究发现, 动作化学习策略未能促进学习效果(Stull et al., 2018; Zhang, 2019; Zhang & Van Reet, 2022), 甚至在某些情况下可能阻碍学习效果(Mierdel & Bogner, 2021)。为系统梳理上述不一致结果, 匡子翌等人(2023)对以往研究的结果进行系统性综述和元分析。结果表明, 动作化学习在促进学习效果(保持和迁移测验)具有中等及以上的效应, 但该研究同时指出现有文献中仍存在一些未厘清的问题, 例如: 学习者年龄对动作化学习效果的影响尚不明确; 学习材料类型相对单一; 动作化学习的效果可能受到其他教学支架因素的干扰。此外, 当动作化学习程度过高时, 可能增加学习者的认知负荷, 从而在一定条件下削弱学习效果。

3.2.2. 实物动作化学习与虚拟动作化学习

在进一步比较不同形式的动作化学习时, 匡子翌等人(2023)通过对现有研究比较发现, 总体上实物动作化学习和虚拟动作化学习在学习成绩上并不存在显著差异, 但部分研究结果仍表现出一定的不一致性。这些差异可能与多种因素有关, 例如: 不同研究中教学模型的复杂程度存在差异, 以及学习测验在测查深度和侧重点上的不同。

3.3. 动作化学习的主观体验

除学习成绩外, 已有研究还关注动作化学习对学习者的主观体验的影响, 动作化学习可能通过影响学习者的主观体验, 进而对学习成绩产生作用, 但相关研究结果尚不稳定(匡子翌等, 2023)。可能由以下几个方面原因造成: 首先, 现有研究数量相对有限, 尚不足以全面反映动作化学习对主观体验影响的整体图景, 未来仍需更多研究对学习者在动作化学习过程中的主观体验进行系统探查。其次, 不同研究在主观体验的测量工具上存在较大差异。以认知负荷测量为例, 部分研究仅测查学习者感知的心理努力, 而另一些研究则测查认知负荷的三个维度(即内在认知负荷、外在认知负荷和相关认知负荷), 还有研究采用美国国家航空航天局任务负荷指数(NASA-TLX)作为测量工具, 由于不同量表在测量维度和侧重点上的差异, 其所得结果可能存在一定不一致性(Krieglstein et al., 2022)。最后, 量表施测存在单一化问题。以往相关研究都采用被试间实验设计, 被试仅能对一个条件进行评价, 这样的设计可能导致结果存在偏差(Wilson et al., 2018)。

4. 学习者自我生成教学

自我生成教学(learning by non-interactive teaching)指学习者在知识学习过程中转换学习角色, 将自己

所学知识以知识传授者角色讲解给其他人(成美霞等, 2023)。这种“教中学”的方式以向他人解释所学知识为核心, 使教学过程与学习内容紧密衔接, 引导学习者将认知资源更多投入到对知识的理解、组织与表达之中, 从而有助于提升学习成效(Fiorella & Mayer, 2015)。

在相关研究的早期阶段, 学者们多通过同伴辅导、合作学习以及小组讨论等教学形式, 考察“教中学”在学习中的积极作用(Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2008; Slavin, 1983; Webb, 1982)。并一致认为“教中学”是一种高效的生成性学习活动。同时, “教中学”也是一项相对复杂的学习活动, 通常包含教学准备、向他人解释以及与他人互动三个子成分。在此基础上, 成美霞等人将“自我生成教学”这一术语特指不存在同伴在场或互动情境下的“教中学”(learning by teaching without audience presence or interaction), 即学习者借助非互动性教学活动进行学习(例如, 录制教学视频)(成美霞等, 2023)。

4.1. 学习者自我生成教学实施

鉴于自我生成教学在操作层面具有较强的多样性, 其具体实施方式在不同研究中存在显著差异。总体而言, 学习者开展自我生成教学时, 通常可以采用三类主要形式: 一是以口头讲解为主并呈现教者形象的方式, 例如借助摄像设备录制教学视频, 或在缺乏互动的情境中进行面对面的讲解; 二是不呈现教者形象的口头方式, 主要通过录音设备或电子终端的语音功能生成教学内容; 三是不呈现教者形象的书面方式, 即通过纸质材料或电子文本完成教学内容的表达。

4.2. 学习者自我生成教学对学习的提升

不同媒介条件下的自我生成教学在学习者所经历的认知加工过程和参与方式上存在差异, 这种差异可能进一步影响其对学习结果的促进作用。已有研究从多个角度对此进行了比较。例如, Hoogerheide 等人以三段论推理任务为学习内容, 考察了视频形式与书面形式的自我生成教学效果, 结果显示, 视频形式的教学在学习成绩上优于回忆任务, 而书面形式并未表现出明显的促进优势(Hoogerheide et al., 2016)。在另一项研究中, Lachner 等人以“内燃机的结构与功能”为学习材料, 对语音形式和书面形式的自我生成教学进行了比较, 发现语音形式在促进学习表现方面更具优势(Lachner et al., 2018), 这一结果在后续研究中亦得到了支持(Jacob et al., 2020)。此外, 相关证据还表明, 相较于提取练习, 采用视频形式开展自我生成教学能够显著提升学习成绩(Lachner et al., 2020)。综合来看, 不同实施方式下自我生成教学对学习成绩的影响并非一致, 其效果可能受到媒介形式和教学呈现方式的共同制约。相较于不呈现教者形象的口头或书面形式, 包含教者形象的口头方式(如教学视频、面对面讲解或基于想象的教学活动)更有可能激发学习者的投入与认知加工, 从而在一定条件下表现出更为稳定的促进效果。

4.3. 学习者自我生成学习的主观体验

除学习结果指标之外, 部分研究还从学习过程层面出发, 考察自我生成教学对学习者的主观体验的影响, 例如认知负荷或心理努力、学习动机以及愉悦感等, 以期从体验与加工过程的角度理解自我生成教学对学习者的学习成绩产生影响的可能机制。总体而言, 自我生成教学可能增加学习者的认知负荷, 较高的认知负荷在一定程度上可能反映学习者在教学过程中投入了更多心理努力(成美霞等, 2023)。

相关研究指出, 相较于其他实施形式, 采用视频或语音方式开展自我生成教学更容易促使学习者进入“教师角色”, 并增强其以“帮助他人理解”为目标的学习取向。在此过程中, 学习者往往需要在教学准备与讲解阶段投入更多认知资源, 对学习材料进行筛选、结构化处理、整合与表达, 同时持续进行自我监控与调节, 从而在一定程度上提升学习表现(Hoogerheide et al., 2016; Hoogerheide et al., 2019a, 2019b; Jacob et al., 2020; Pi et al., 2021)。虽然积极的学习体验在教学过程中可能有助于提升学习效果, 但未来研

究仍需明确动机与愉悦感对学习的作用机制：它们究竟是直接推动学习，还是通过调节认知加工间接发挥影响，亦或二者同时起作用。此外，这些动机与愉悦感究竟源自自我生成教学策略本身，还是仅因策略的新颖性而被激发，也需要进一步的实证探讨。

5. 生成式人工智能在创造力上的表现以及潜在合作的探讨

OpenAI 开发的自然语言处理(NLP)模型 ChatGPT 的出现在公众层面引发了关于人工智能(AI)效用的广泛讨论(OpenAI, 2023)。具体来说，OpenAI 于 2023 年发布 GPT-4，并在官方技术报告与产品介绍中将其描述为相较于早期版本“更具创造性”，尤其体现在“创意和技术写作任务”中。这一表述表明，创造力这一长期被视为人类核心能力的领域，也开始受到人工智能发展的影响。基于此，研究者已开始对人工智能模型的创造性表现进行初步评估(Lee & Lin, 2023; Liu et al., 2023)。

在创造力研究中，相较于聚合思维，研究者通常更加关注发散性思维，因为联想机制被认为是个体产生创造性解决方案的关键基础，即创造潜力的重要来源。具体而言，发散性思维常被视为衡量个体创造力潜力的指标(Runco & Acar, 2012)。在一项近期发散任务的对比研究中，总体结果显示，GPT-4 在多项发散性思维任务中的原创性和复杂性评分均高于人类参与者，即便在控制反应流畅性后，这一优势仍然存在。换言之，GPT-4 在一系列发散性思维任务(包括替代用途任务、后果任务和发散联想任务)中表现出较高的创造潜力(Hubert et al., 2024)。

事实上，人工智能已在音乐(Yin et al., 2023)、科学研究(Gao et al., 2022)、医学(Kumar et al., 2023)以及视觉艺术(Anantrasirichai & Bull, 2022)等多个领域展现出生成新联系和新表征的能力。随着互联网的普及以及信息获取方式的高度便捷化，人类与搜索引擎及生成式人工智能之间的交互模式正在重塑。在这样的背景下，我们如何更有效地与生成式人工智能协作无疑将是至关重要的，也将成为一个亟需关注和探索的重要领域。

结合前文所述的两种生成学习理论的实践路径，无论是其既有优势还是现实局限，均存在通过引入生成式人工智能进行优化的可能性。在动作化学习中，已有研究表明实物动作化学习与虚拟动作化学习在学习成绩上的总体效果并无显著差异，这为生成式人工智能在虚拟动作化学习情境中的应用提供了广阔的发展空间。然而，需要指出的是，虚拟环境并不意味着身体参与的缺失。通过现代交互技术(如手势识别、触觉反馈、增强/虚拟现实等)，学习者仍能在虚拟环境中进行身体动作与认知加工的紧密耦合。生成式人工智能能够进一步增强这一过程：它不仅提供更加丰富和多样化的学习素材，满足学生多元化学习需求，还可以根据学生的学习水平生成定制化的学习要素和任务结构，从而更好地匹配学生能力与学习材料的难度和深度。在这一过程中，学习者在虚拟操作中能够主动参与、选择、组织和整合信息，从而在保持“具身”体验的同时，激发创造性表现。

在自我生成教学情境中，不同实施方式之间的效果差异已得到一定程度的实证支持，其中有教者形象的口头形式通常表现出更优的学习效果。然而，在实际应用中，学习者的个人特质和知识水平可能限制其采用这种形式，亦或是没能充分发挥该形式的优势(例如，部分学生可能缺乏书写或绘画技能，存在表达焦虑或自我效能感不足等问题)。在此情况下，通过借助生成式人工智能的支持，可以为学习者提供更加丰富、质量稳定且符合学习者期望的教学准备材料，帮助其将自身想法进行更为具体和清晰的表达，从而在一定程度上降低了学生实施自我生成教学的心理负担和技能门槛。此外，自我生成教学是通过减少与他人互动来降低“教中学”实施的难度，而具备自然语言处理能力的生成式人工智能模型，在一定程度上可以模拟互动情境，从而缓解学习者在真实社会互动中的压力，为“教中学”的开展提供新的可能路径。学习者还可在与生成式人工智能的互动过程中检验自身学习成果，并获得更具个性化特征的反馈，这种匹配学习者发展水平的互动方式，有助于激发其求知欲与好奇心，并进一步支持创造力的发展。

尽管生成式人工智能在动作化学习和自我生成教学中展现出优化潜力，但也需要对潜在风险保持审慎思考。AI 提供的高质量内容可能在一定程度上替代学习者自身的生成性加工(Generative Processing)，造成过度“认知卸载”。过度依赖 AI 可能减弱“身体-认知”耦合的体验或“教师角色”投入，影响生成学习理论强调的主动参与和元认知调控机制，从而削弱主动探索和创造的机会。此外，AI 在个性化支持和互动模拟中可能存在偏差。例如，算法生成的建议或反馈未必完全契合学习者的真实发展水平，甚至可能强化某些认知或表达方式，从而限制思维多样性和创造性。因此，在教育实践中，需要在利用 AI 提供便利、保持学习者主动生成、“身体-认知”耦合体验之间找到平衡，同时设计引导机制，让学习者持续参与真实的认知与身体行动过程，从而确保技术真正服务于创造力培养，而非替代或削弱其核心认知机制。

6. 总结与展望

随着生成学习理论不断发展，研究者逐渐更加关注学生对于学习的自发行动，同时进一步强调运用多样化的方式和手段为学生营造一个有利于学生充分地探索和表达的学习环境。因为这样的环境对于学生创造力的培养同样至关重要，创造力发展既离不开先天的遗传，更离不开后天的学习和培养。在当今人工智能快速发展的时代，如何有效利用这一强大工具，使其更好地支持学习和创造活动已成为教育实践需要努力的方向。然而，如何将这一愿景落地，仍需对创造力与学习之间的关系、创造力生成过程与思维机制，以及学习者如何与生成式人工智能协作等核心议题进行深入探索。相信随着研究的推进，这些问题在不久的将来都会得到更深入和系统的解答。

参考文献

- 成美霞, 匡子翌, 冷晓雪, 张洋, 王福兴(2023). 以教促学: 学习者自我生成教学对学习的影响. *心理科学进展*, 31(5), 769-782.
- 匡子翌, 祝婉玲, 成美霞, 王福兴, 胡祥恩(2023). 动作化学习的有效性及其影响机制. *心理科学进展*, 31(10), 1924-1936.
- 叶浩生(2022). 身体的意义: 生成论与学习观的重建. *教育研究*, 43(3), 58-66.
- Acar, O. A., & van den Ende, J. (2016). Knowledge Distance, Cognitive-Search Processes, and Creativity: The Making of Winning Solutions in Science Contests. *Psychological Science*, 27, 692-699. <https://doi.org/10.1177/0956797616634665>
- Anantrasirichai, N., & Bull, D. (2022). Artificial Intelligence in the Creative Industries: A Review. *Artificial Intelligence Review*, 55, 589-656. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10039-7>
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action* (p. 2). Prentice Hall.
- Bandura, A. (1997). *Self-Efficacy: The Exercise of Control*. Freeman.
- OpenAI (2023). *ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue*. <https://openai.com/blog/chatgpt>
- Chi, M. T. H. (2009). Active-constructive-interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities. *Topics in Cognitive Science*, 1, 73-105. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01005.x>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a Generative Activity*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107707085>
- Flavell, J. H. (1978). Metacognitive Development. In J. M. Scandura, & C. J. Brainerd (Eds.), *Structural/Process Theories of Complex Human Behavior* (pp. 213-245). Springer.
- Gao, C. A., Howard, F. M., Markov, N. S., Dyer, E. C., Ramesh, S., Luo, Y., & Pearson, A. T. (2022). *Comparing Scientific Abstracts Generated by ChatGPT to Original Abstracts Using an Artificial Intelligence Output Detector, Plagiarism Detector, and Blinded Human Reviewers*. BioRxiv.
- Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S. M. M., Heijltjes, A., & van Gog, T. (2016). Gaining from Explaining: Learning Improves from Explaining to Fictitious Others on Video, Not from Writing to Them. *Contemporary Educational Psychology*, 44, 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.005>
- Hoogerheide, V., Renkl, A., Fiorella, L., Paas, F., & van Gog, T. (2019a). Enhancing Example-Based Learning: Teaching on Video Increases Arousal and Improves Problem-Solving Performance. *Journal of Educational Psychology*, 111, 45-56.

- <https://doi.org/10.1037/edu0000272>
- Hoogerheide, V., Visee, J., Lachner, A., & van Gog, T. (2019b). Generating an Instructional Video as Homework Activity Is Both Effective and Enjoyable. *Learning and Instruction, 64*, Article ID: 101226. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>
- Hubert, K. F., Awa, K. N., & Zabelina, D. L. (2024). The Current State of Artificial Intelligence Generative Language Models Is More Creative than Humans on Divergent Thinking Tasks. *Scientific Reports, 14*, Article No. 3440. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53303-w>
- Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2020). Learning by Explaining Orally or in Written Form? Text Complexity Matters. *Learning and Instruction, 68*, Article ID: 101344. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101344>
- Krieglstein, F., Beege, M., Rey, G. D., Ginns, P., Krell, M., & Schneider, S. (2022). A Systematic Meta-Analysis of the Reliability and Validity of Subjective Cognitive Load Questionnaires in Experimental Multimedia Learning Research. *Educational Psychology Review, 34*, 2485-2541. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09683-4>
- Kumar, Y., Koul, A., Singla, R., & Ijaz, M. F. (2023). Artificial Intelligence in Disease Diagnosis: A Systematic Literature Review, Synthesizing Framework and Future Research Agenda. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 14*, 8459-8486. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03612-z>
- Lachner, A., Backfisch, I., Hoogerheide, V., van Gog, T., & Renkl, A. (2020). Timing Matters! Explaining between Study Phases Enhances Students' Learning. *Journal of Educational Psychology, 112*, 841-853. <https://doi.org/10.1037/edu0000396>
- Lachner, A., Ly, K., & Nückles, M. (2018). Providing Written or Oral Explanations? Differential Effects of the Modality of Explaining on Students' Conceptual Learning and Transfer. *The Journal of Experimental Education, 86*, 344-361. <https://doi.org/10.1080/00220973.2017.1363691>
- Lee, Y., & Lin, T. (2023). The Feasibility Study of AI Image Generator as Shape Convergent Thinking Tool. In H. Degen, & S. Ntoa (Eds.), *Artificial Intelligence in HCI* (pp. 575-589). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35891-3_36
- Liu, H., Ning, R., Teng, Z., Liu, J., Zhou, Q., & Zhang, Y. (2023). *Evaluating the Logical Reasoning Ability of ChatGPT and GPT-4*. arXiv: 2304.03439.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia Learning. *Psychology of Learning and Motivation, 41*, 85-139. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(02\)80005-6](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(02)80005-6)
- Mierdel, J., & Bogner, F. X. (2021). Investigations of Modellers and Model Viewers in an Out-of-School Gene Technology Laboratory. *Research in Science Education, 51*, 801-822. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09871-3>
- Pi, Z., Zhang, Y., Zhou, W., Xu, K., Chen, Y., Yang, J. et al. (2021). Learning by Explaining to Oneself and a Peer Enhances Learners' Theta and Alpha Oscillations While Watching Video Lectures. *British Journal of Educational Technology, 52*, 659-679. <https://doi.org/10.1111/bjet.13048>
- Plucker, J. A., Beghetto, R. A., & Dow, G. T. (2004). Why Isn't Creativity More Important to Educational Psychologists? Potentials, Pitfalls, and Future Directions in Creativity Research. *Educational Psychologist, 39*, 83-96. https://doi.org/10.1207/s15326985sep3902_1
- Roscoe, R. D. (2014). Self-Monitoring and Knowledge-Building in Learning by Teaching. *Instructional Science, 42*, 327-351. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>
- Roscoe, R. D., & Chi, M. T. H. (2008). Tutor Learning: The Role of Explaining and Responding to Questions. *Instructional Science, 36*, 321-350. <https://doi.org/10.1007/s11251-007-9034-5>
- Runco, M. A., & Acar, S. (2012). Divergent Thinking as an Indicator of Creative Potential. *Creativity Research Journal, 24*, 66-75. <https://doi.org/10.1080/10400419.2012.652929>
- Scott, G., Leritz, L. E., & Mumford, M. D. (2004). The Effectiveness of Creativity Training: A Quantitative Review. *Creativity Research Journal, 16*, 361-388. <https://doi.org/10.1080/10400410409534549>
- Slavin, R. E. (1983). *Cooperative Learning. Research on Teaching Monograph Series*. ERIC.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1995). *Defying the Crowd: Cultivating Creativity in a Culture of Conformity*. Free Press.
- Stilwell, P., & Harman, K. (2021). Phenomenological Research Needs to Be Renewed: Time to Integrate Enactivism as a Flexible Resource. *International Journal of Qualitative Methods, 20*, 1-15. <https://doi.org/10.1177/1609406921995299>
- Stull, A. T., Gainer, M. J., & Hegarty, M. (2018). Learning by Enacting: The Role of Embodiment in Chemistry Education. *Learning and Instruction, 55*, 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.09.008>
- Webb, N. M. (1982). Peer Interaction and Learning in Cooperative Small Groups. *Journal of Educational Psychology, 74*, 642-655. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.74.5.642>
- Wilson, K. E., Martinez, M., Mills, C., D'Mello, S., Smilek, D., & Risko, E. F. (2018). Instructor Presence Effect: Liking Does Not Always Lead to Learning. *Computers & Education, 122*, 205-220. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.011>
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a Generative Process. *Educational Psychologist, 11*, 87-95.

<https://doi.org/10.1080/00461527409529129>

Yin, Z., Reuben, F., Stepney, S., & Collins, T. (2023). Deep Learning's Shallow Gains: A Comparative Evaluation of Algorithms for Automatic Music Generation. *Machine Learning*, *112*, 1785-1822. <https://doi.org/10.1007/s10994-023-06309-w>

Zhang, L. (2019). "Hands-On" Plus "Inquiry"? Effects of Withholding Answers Coupled with Physical Manipulations on Students' Learning of Energy-Related Science Concepts. *Learning and Instruction*, *60*, 199-205. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.001>

Zhang, L., & Van Reet, J. (2022). How Is "Knowledge" Constructed during Science Activities? Detaching Instructional Effects of "Playing" and "Telling" to Optimize Integration of Scientific Investigations. *Research in Science Education*, *52*, 1435-1449. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-09990-w>